Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 2, Fall - Winter 2018, p. 449-461

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۸، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۷، ص ۴۶۱-۴۴۹

ارزیابی پتانسیل توان باد به‌عنوان منبع تولید برق در شهر پارس‌آباد مغان، ایران

فروغ کیهانی‌نسب[1*] - ترحم مصری گندشمین[2] - شیوا زرگر ارشادی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۳

چکیده

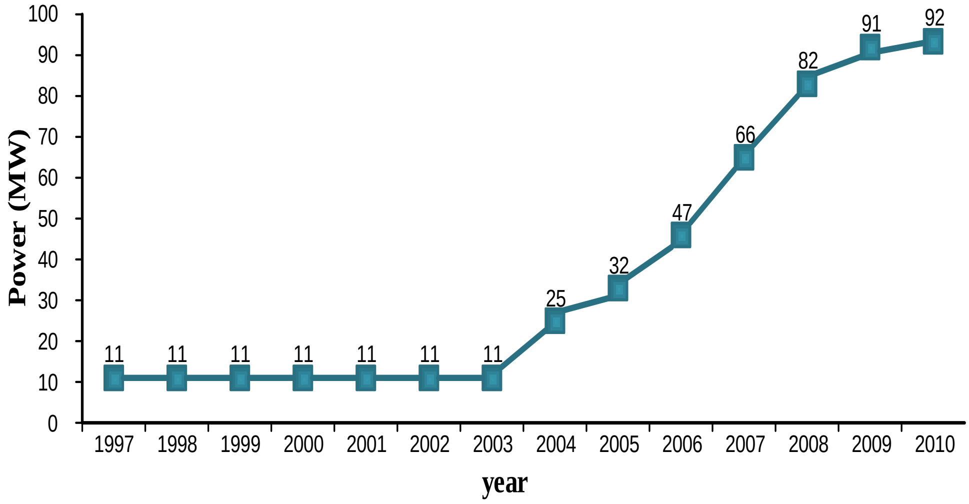
امروزه نیروگاه‌های بادی با توجه به هزینه پایین تولید برق و همچنین سازگاری با محیطزیست از جمله منابع انرژی پرطرف‌دار بوده و در چند سال گذشته رشد بسیار خوبی داشته‌است. با توجه به اهمیت استفاده از این منبع پایان‌ناپذیر و مزایای استفاده از آن باید یک برنامه‌ریزی دقیق برای شناخت پتانسیل‌های موجود در کشور جهت گسترش استفاده از این منبع انرژی صورت گیرد. هدف این تحقیق ارزیابی پتانسیل انرژی باد برای شهر پارس‌آباد در شمال‌غربی ایران است. در این تحقیق داده‌های باد ۱۱ سال (۲۰۱۵– ۲۰۰۵) برای محاسبه چگالی توان و پتانسیل انرژی باد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور از تابع چگالی Weibull برای تعیین چگالی توان باد و انرژی باد منطقه استفاده شد. طبق محاسبات انجام‌گرفته، میانگین سالانه‌ی پارامتر مقیاسی ویبول (c) برابر ms^{-1} ۳/۲۹ و میانگین سالانه پارامتر شکلی ویبول (k)، برابر ۲/۰۶ هست. همچنین میانگین سالانه چگالی توان و انرژی باد برای این منطقه به‌ترتیب برابر Wm^{-2} ۳۵ و $kWhm^{-2}$ ۳۰۶ هست. با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده می‌توان چنین استنباط کرد که شهر پارس‌آباد ازنظر پتانسیل تولید انرژی باد و بر اساس طبقه‌بندی مقداری، در موقعیت ضعیف تا متوسط قرار دارد و برای اتصالات غیرشبکه‌ای مناسب است.

واژه‌های کلیدی: انرژی باد، پارامترهای Weibull، پارس‌آباد، چگالی انرژی باد، چگالی توان باد

مقدمه

امروزه به دلیل افزایش قیمت جهانی سوخت‌های فسیلی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و فناپذیری آن‌ها، توجه زیادی به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان جایگزین یا مکمل برای سوخت‌های فسیلی شده است (Aghkhani *et al.*, 2013). از طرف دیگر تنوع‌بخشی به منابع انرژی، توسعه پایدار و ایجاد امنیت انرژی و پاک و تجدیدپذیر بودن منابع انرژی‌های نو موجب افزایش سهم این منابع در سبد انرژی جهانی شده است. انرژی تجدیدپذیر نظیر خورشید، باد، زیست‌توده و غیره حدود ۱۸٪ از کل تقاضای انرژی جهان را تأمین می‌کند (سازمان انرژی‌های نو ایران، SUNA). انرژی باد مزایای زیادی نسبت به سایر منابع تجدیدپذیر دارد که از آن جمله می‌توان به‌رایگان بودن، عدم آلودگی‌های زیست‌محیطی و عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تبدیل انرژی باد اشاره کرد (Jalalvand *et al.*, 2014). نیروگاه‌های بادی با توجه به هزینه پایین تولید برق و همچنین سازگاری با محیطزیست از جمله منابع انرژی پرطرف‌دار بوده و در چند سال گذشته رشد بسیار خوبی داشته‌است. با توجه به اهمیت استفاده از این منبع پایان‌ناپذیر و مزایای استفاده از آن باید یک برنامه‌ریزی دقیق برای شناخت پتانسیل‌های موجود در کشور جهت گسترش استفاده از این منبع انرژی صورت گیرد (Keyhani Nasab *et al.*, 2016). در سال ۱۳۸۱، سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) اقدام به اجرای پروژه ملی پتانسیل‌سنجی و تهیه اطلس رنگی باد کشور کرد، که این پروژه در سال ۱۳۸۸ خاتمه یافت. در این اطلس، ۲۶ منطقه از کشور شامل ۴۵ سایت مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، که بر اساس اطلس مذکور، پتانسیل کل استفاده از انرژی باد در ۲۰ سایت مذکور معادل ۶۵۰۰ مگاوات هست (Sharif Moghaddasi, 2009) و میزان برق قابل استحصال از انرژی برق بادی در کل کشور در حدود ۲۰۰۰۰ مگاوات برآورد شده است. تا پایان سال ۱۳۸۸ توربین‌های نصب‌شده در سایت‌های منجیل، بینالود، زابل و تبریز برابر ۹۲ مگاوات بوده است که مؤید پتانسیل قابل‌توجه کشور در زمینه احداث نیروگاه‌های بادی و همچنین اقتصادی بودن سرمایه‌گذاری در صنعت انرژی بادی می‌باشد.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی
۲- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی
(*- نویسنده مسئول: Email: forough_keyhani@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jam.v8i2.64742



شکل ۱– رشد ظرفیت نصب توربین‌های بادی در ایران (Fazelpour *et al*., 2014)

Fig.1. Capacity improvement of wind turbine Installation in Iran (Fazelpour *et al*., 2014)

در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی جهت ارزیابی پتانسیل انرژی باد در سراسر جهان با استفاده از داده‌های سرعت باد جمع‌آوری شده، انجام گرفته است. محققان پتانسیل انرژی باد را در ایستگاه شوشتر در شمال استان خوزستان در ۲۰ ماه متوالی با فاصله زمانی ۱۰ دقیقه مورد بررسی قرار دادند. پتانسیل انرژی باد در این ایستگاه با استفاده از تابع توزیع احتمال ویبول برآورد شد. بر اساس طبقه‌بندی کلاس چگالی توان باد، معلوم شد که پتانسیل انرژی باد در شوشتر برای نصب توربین‌های بادی ضعیف هست (Biglari *et al*., 2013) جمعی دیگر از پژوهشگران داده‌های سرعت باد را در بازه‌های ۱۰ دقیقه‌ای برای سال‌های ۲۰۱۱ -۲۰۰۹ در ارتفاع ۱۰، ۳۰، ۴۰ متری برای استان قزوین، ایران اندازه‌گیری‌کردند. این مطالعه، پتانسیل انرژی باد را در سه ایستگاه استان یعنی پاپلی، جرندق و نیکویه ارائه داد. از ارزیابی اولیه و تعیین میانگین سرعت باد و همچنین توزیع ویبول یافت‌شد که جرندق پتانسیل بهتری برای استفاده از انرژی باد در استان داراست. همچنین ارزیابی میانگین توان سالانه باد برای ایستگاه جرندق نشان‌داد که این منطقه برای نصب توربین‌های بادی مناسب می‌باشد (Jahangiri *et al*., 2011). مطالعه انجام‌شده توسط دانشگاه صنعتی شریف در ایران نشان می‌دهد که در ۲۶ منطقه کشور، پتانسیل انرژی باد حدود ۶۵۰۰ مگاوات هست. (Chaparzadeh, 1999). اما سهم ایران در تولید الکتریسیته از انرژی باد در جهان، تنها ۰/۴٪ هست (Mostafaeipour *et al*., 2011). تجربه اول ایران در نصب توربین‌های بادی به سال ۱۳۷۳ باز می‌گردد. دو مزرعه ۵۰۰ مگاواتی تولید توان از باد در منجیل و رودبار استان گیلان در شمال ایران احداث شده‌است که تولید سالانه آن‌ها از انرژی باد بیش از ۱/۸ میلیون کیلووات ساعت است. دومین تجربه موفق ایران در سال ۱۳۷۸ بود که در آن ۲۷ توربین بادی در منجیل، رودبار و هرزویل نصب شدند (Mirhosseini *et al*., 2011). پژوهشگران منبع باد و پتانسیل توان آن را در شهر اردبیل مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که پتانسیل باد در این منطقه برای اتصالات غیرشبکه‌ای مناسب است و نمی‌تواند برای اتصال به شبکه‌های توان قابل‌قبول باشد (Fazelpour *et al*., 2014). سایر پژوهشگران نیز پتانسیل توان باد را در دو استان خراسان شمالی و خراسان جنوبی مورد مطالعه قراردادند. نتایج نشان‌داد که این مکان‌ها از پتانسیل خوبی برای استفاده از توان باد برخوردارند (Saeidi *et al*., 2011). جمعی دیگر از محققان پتانسیل تولید توان از باد در ایران را با استفاده از داده‌های سرعت باد در ارتفاع ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متر برای سال ۲۰۰۷ مورد تجزیه و تحلیل قراردادند. آن‌ها میانگین سرعت باد، تابع توزیع سرعت باد و میانگین چگالی توان باد را برای ۶۸ مکان مختلف در ایران تخمین زدند (Alamdari *et al*., 2012). پژوهشگران در این حوزه پتانسیل انرژی باد و ارزیابی اقتصادی آن را در شهر زاهدان مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. مطالعات نشان داد که این شهر به دلیل قرار گرفتن در جهت بادهای فصلی که از سمت شرق به سمت غرب می‌وزد، پتانسیل بالایی برای استحصال توان از توربین‌های بادی دارد (Mostafaeipour *et al*., 2014).

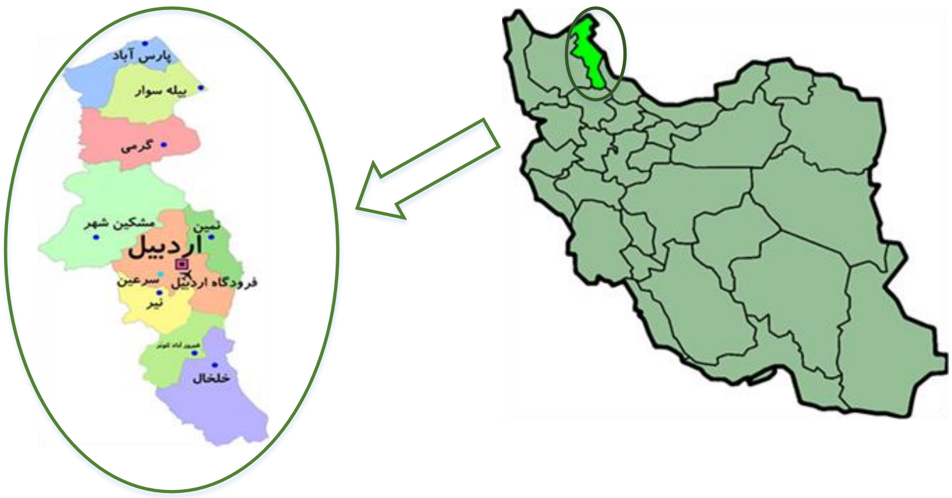
هدف اصلی این مقاله، ارزیابی پتانسیل انرژی باد برای شهر پارس‌آباد در شمال‌غربی ایران است. به‌همین منظور تابع توزیع احتمال

Weibull با استفاده از یک منبع داده طولانی‌مدت تشکیل‌شده از ۱۱ سال (۲۰۱۵ -۲۰۰۵) از میانگین داده‌های باد اندازه‌گیری شده در بازه‌های زمانی ۳ ساعته (در ساعات ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸و ۲۱) در ارتفاع ۱۰ متری بالای سطح زمین محاسبه گردید. اختلاف سرعت باد سالانه و ماهانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و توزیع Weibull، تراکم قدرت باد و تراکم انرژی باد تعیین شدند.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها و شرح مکان

شهر پارس‌آباد در قسمت شمالی جلگه مغان و در شمال‌غربی ایران واقع شده‌است و از لحاظ موقعیت جغرافیایی در ۳۹ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار داشته و به‌طور متوسط ۴۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. این شهرستان از شمال به رودخانه ارس و جمهوری آذربایجان، از غرب به شهرستان کلیبر در استان آذربایجان‌شرقی، از شرق به جمهوری آذربایجان و از جنوب و جنوب غربی به شهرستان‌های بیله‌سوار و گرمی محدود می‌گردد. آب و هوای این شهر معتدل بوده و تابستان‌هایش بسیار گرم و زمستان‌ها با آب و هوایی ملایم همراه می‌باشند. در تابستان‌ها گاه درجه حرارت تا چهل درجه سلسیوس هم می‌رسد و در زمستان‌ها، دما به صفر درجه سلسیوس نیز کاهش می‌یابد. برای به‌دست آوردن چگالی توان باد و پتانسیل انرژی باد، داده‌های باد ۱۱ سال مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفت که داده‌های هواشناسی مورد نیاز از سازمان هواشناسی ایران به‌دست آمد (سازمان هواشناسی کشور). ایستگاه موردنظر در فرودگاه پارس‌آباد قرار داشته و کلیه داده‌های سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین و در بازه‌های زمانی سه ساعته جمع‌آوری‌گردید به‌گونه‌ای که در هر روز از ماه سرعت باد در ساعات مختلف شبانه‌روز (ساعات ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸و ۲۱) اندازه‌گیری شد و میانگین سرعت باد در همان روز نیز محاسبه گردید. از مجموع میانگین‌های روزانه سرعت باد، میانگین ماهانه سرعت باد و از مجموع میانگین‌های ماهانه سرعت باد نیز میانگین سالانه سرعت باد به‌دست آمد. در نهایت میانگین سالانه سرعت باد برای ۱۱ سال محاسبه شد.



شکل ۲– نقشه ایران، استان اردبیل، موقعیت شهرستان پارس‌آباد

Fig. 2. Map of Iran, province of Ardabil, situation of the city of Pars Abad

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تابع چگالی احتمالی Weibull

سرعت باد یک مقدار تصادفی است. پرکاربردترین تابع چگالی استفاده شده برای توصیف سرعت باد، تابع چگالی احتمال Weibull می‌باشد. دانستن توزیع فراوانی سرعت باد نقش اساسی در تخمین پتانسیل باد در هر منطقه ایفا می‌کند. مادامی‌که توزیع سرعت باد مشخص باشد، پتانسیل قدرت باد به آسانی قابل‌محاسبه خواهد بود. توابع چگالی احتمال مختلفی نظیر Weibull، Rayleight، Gamma، Beta، Gaussian و Lognormal وجود دارد که می‌توان از آن‌ها برای توصیف فراوانی سرعت باد در طول یک دوره زمانی استفاده کرد اما تابع توزیع Weibull دو پارامتری معمولاً به خاطر سادگی و دقت بالایش جهت تجزیه و تحلیل داده‌های سرعت باد، به‌عنوان مناسب‌ترین تابع شناخته می‌شود. تابع چگالی احتمال Weibull همانند رابطه (۱) است (Chang *et al.*, 2003).

$$f(v) = \frac{k}{c}\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^{k}\right) \quad (۱)$$

در اینجا، v بیانگر سرعت باد، k ضریب شکل (بدون بعد) و c

ضریب مقیاس ($m\ s^{-1}$) است. k شکل منحنی توزیع و c مقیاس را تعیین می‌کند. چندین روش برای تخمین پارامتر Weibull بیان شده‌است که در این مطالعه، از روش انحراف استاندارد برای به‌دست آوردن پارامترهای Weibull استفاده گردید. با استفاده از این روش، k از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Ouammi *et al*., 2011).

$$k= \left(\frac{\sigma}{\bar{v}}\right)^{-1.086} \quad (۲)$$

که زمانی دارای اعتبار است که ۱≤k≤۱۱ باشد. مقدار k برای اکثر مقاطع باد حدود ۲ است. σ انحراف استاندارد سرعت باد هست.

همچنین، از رابطه (۳) می‌توان برای محاسبه پارامتر c در Weibull استفاده‌کرد:

$$c =\frac{\bar{v}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)} \quad (۳)$$

که در آن $\bar{v}$ نشان‌دهنده سرعت متوسط باد است و از رابطه (۴) قابل محاسبه است:

$$\bar{v} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} v_i \quad (۴)$$

انحراف استاندارد سرعت باد (σ) از رابطهه (۵) به‌دست می‌آید:

$$\sigma = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(v_i-\bar{v})^2\right) \quad (۵)$$

متوسط سرعت باد و واریانس سرعت باد را می‌توان بر اساس پارامترهای Weibull از طریق روابط (۶ و ۷) محاسبه کرد:

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v\, f_w\ (v)\, dv = \ c\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right) \quad (۶)$$

$$\sigma = \sqrt{c^2\ \left[\Gamma\ \left(1+\frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1+\frac{2}{k}\right)\right]} \quad (۷)$$

که در آن تابع گامای (X) (فرمول استاندارد) همانند رابطه (۸) محاسبه خواهد شد و برابر است با:

$$\Gamma\ (x)\ =\ \int_0^{\infty} \exp(-u)\ u^{x-1}\ dx \quad (۸)$$

چگالی توان باد

پس از محاسبه پارامترهای تابع Weibull، می‌توان وضعیت منطقه را از لحاظ پتانسیل توان باد ارزیابی کرد. یکی از مهم‌ترین مراحل، محاسبه تراکم توان باد است؛ توان باد به ازای واحد سطح بر حسب (Wm^{-2}) توسط رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{1}{2}\rho\, v^3 \quad (۹)$$

متوسط تراکم توان باد در یک منطقه را می‌توان بر اساس تابع تراکم احتمال Weibull همانند رابطه (۱۰) به‌دست آورد: (Jaramillo *et al*., 2004)

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2}\ \rho c^3\Gamma\ (\frac{k+3}{k}) \quad (۱۰)$$

که در آن ρ چگالی هوای استاندارد سطح دریا در میانگین دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر ($\rho = 1.225\ kgm^{-3}$) است.

چگالی انرژی باد

وقتی‌که چگالی توان باد یک منطقه معلوم باشد، چگالی انرژی باد برای مدت‌زمان دلخواه T را می‌توان با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه کرد (Jaramillo *et al*., 2004).

$$\frac{E}{A} = \frac{1}{2}\ \ \rho c^3\ \Gamma\ \left(\frac{k+3}{k}\right)\ T \quad (۱۱)$$

فاکتور الگوی انرژی

فاکتور الگوی انرژی، K_e، که کاربرد آن در طراحی آئرودینامیکی توربین می‌باشد را می‌توان از تقسیم کل توان در دسترس باد بر توان محاسبه شده از مکعب میانگین سرعت باد و از رابطه (۱۲) به‌دست آورد (Jahangiri *et al*., 2011):

$$K_e= \frac{\sum_{i=1}^{N} U_i^3}{N\ \overline{U}^3}\ = \frac{\overline{U}^3}{(\ \overline{U}\ )^3}\ = \frac{\Gamma\ (1+3\ /\ k)}{\Gamma^3\ (1+1\ /\ k)} \quad (۱۲)$$

که N مقدار دیتا در هر سال است.

سرعت باد با بیشترین انرژی

سرعت باد با بیشترین انرژی، V_{me} را می‌توان با استفاده از پارامترهای ویبول k و c همانند زیر به‌دست‌آورد (Fazelpour *et al*., 2014):

$$V_{me} = c\ \left(1-\frac{2}{k}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (۱۳)$$

سرعت باد با بیشترین احتمال

سرعت باد با بیشترین احتمال، V_{mp} (ms^{-1}) را می‌توان با استفاده از پارامترهای ویبول k و c به‌دست‌آورد. محتمل‌ترین سرعت باد، فراوان‌ترین سرعت باد برای یک توزیع احتمال باد معین است و به‌صورت زیر بیان می‌شود (Fazelpour *et al*., 2014).

$$V_{mp} = c\ \left(1-\ \frac{1}{k}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (۱۴)$$

نتایج و بحث

در این مطالعه، داده‌های سرعت باد به‌دست‌آمده از شهر پارس‌آباد در طول یک دوره ۱۱ ساله (۲۰۱۵ -۲۰۰۵) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و پارامترهای c و k توزیع Weibull، میانگین سرعت‌های باد و متوسط چگالی‌های توان باد و انرژی باد تعیین شد.

سرعت باد متوسط ماهانه

میانگین سرعت باد ماهانه $\bar{v}$ و انحراف استاندارد آن σ برای شهر پارس‌آباد و برای سال‌های ۲۰۱۵ –۲۰۰۵ در جدول ۱ نشان داده‌شده است. مطابق داده‌های این جدول، حداقل و حداکثر انحراف معیار میانگین ماهانه ۱۱ ساله در ماه نوامبر و جولای به‌ترتیب با مقادیر ۰/۹۴ و ۳/۱۹ مشاهده می‌شود و حداقل و حداکثر سرعت میانگین ماهانه‌ی باد طی ۱۱ سال در ماه نوامبر و ژوئن به‌ترتیب با مقادیر ۱/۷۸ و ms^{-1} ۴/۱۶ مشاهده می‌شود.

تغییرات ماهانه سرعت باد برای یک دوره ۱۱ ساله در شکل ۳ نشان داده شده است. بیشتر سرعت‌های باد در محدوده ms^{-1} ۵ –۲ قرار داشتند. به‌طورکلی متوسط سرعت باد سالانه ms^{-1} ۵ برای مواردی که به شبکه اتصال دارند، لازم هست.

پارامترهای سالانه Weibull در جدول ۲ ذکر شده است. طبق این جدول، میانگین ۱۱ سال پارامتر مقیاسی (c) معادل ms^{-1} ۳/۲۹ بوده در حالی‌که پارامتر شکلی ویبول (k) معادل ۲/۰۶ است.

جدول ۱ – متوسط سرعت و انحراف معیار ماهانه باد برای شهر پارس‌آباد در سال‌های ۲۰۱۵ –۲۰۰۵

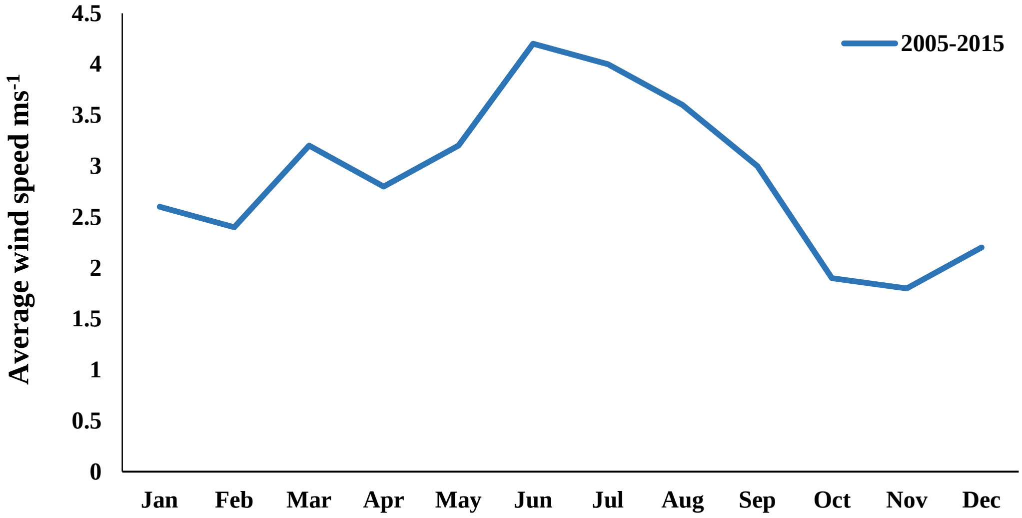
Table 1- Monthly average wind speed (ms^{-1}) and standard deviations for Pars Abad, 2005-2015

Month	Parameter	2005-2015
January	$\bar{v}$	2.62
	σ	1.48
February	$\bar{v}$	2.45
	σ	1.10
March	$\bar{v}$	3.24
	σ	1.58
April	$\bar{v}$	2.77
	σ	1.75
May	$\bar{v}$	3.18
	σ	2.27
June	$\bar{v}$	4.16
	σ	2.95
July	$\bar{v}$	3.99
	σ	3.19
August	$\bar{v}$	3.61
	σ	2.84
September	$\bar{v}$	3.04
	σ	2.12
October	$\bar{v}$	1.95
	σ	1.20
November	$\bar{v}$	1.78
	σ	0.94
December	$\bar{v}$	2.18
	σ	1.40
Year	$\bar{v}$	2.91
	σ	1.90

جدول۲– میانگین سالانه‌ی پارامترهای Weibull برای شهر پارس‌آباد

Table 2- Annual average Weibull parameters for Pars Abad

Year	k (-)	c (ms^{-1})	$\bar{v}$ (ms^{-1})
2005-2015	2.06	3.29	2.91

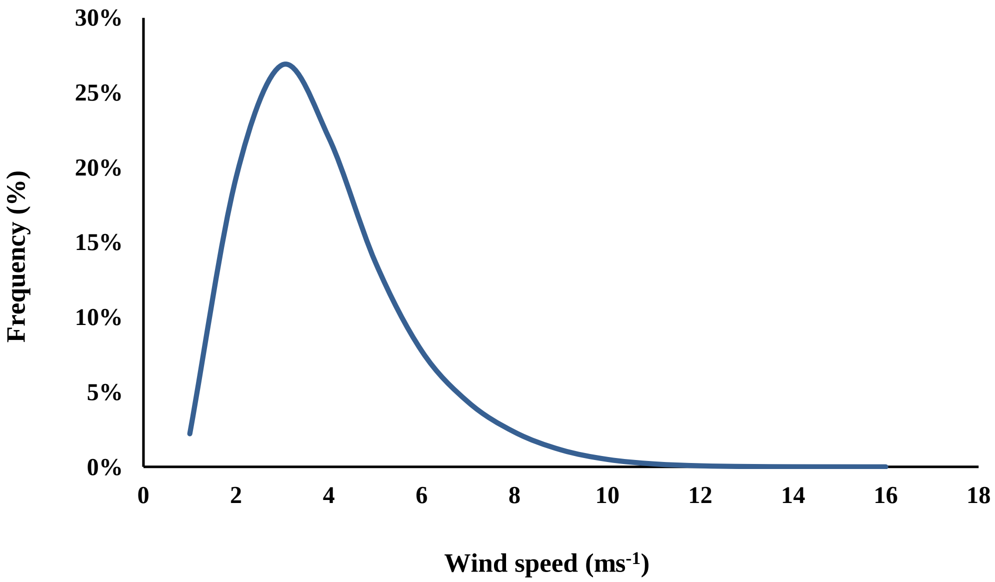


شکل ۳– تغییرات سرعت باد ماهانه در ارتفاع ۱۰ متری برای شهر پارس‌آباد در سال‌های ۲۰۱۵ –۲۰۰۵

Fig. 3. Monthly average wind speeds at the height of 10 m for Pars Abad, 2005-2015

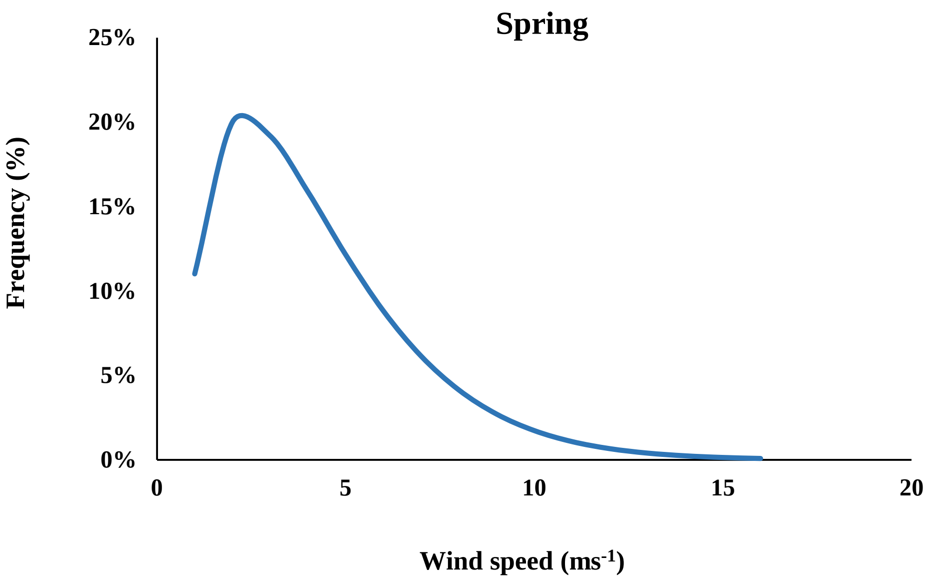
منحنی توزیع ویبول

منحنی ویبول بهترین نمودار برای بررسی رفتار فرکانسی باد است. شکل ۴ فرکانس نرمالیزه و توزیع ویبول را در ارتفاع ۱۰ متری در شهر پارس‌آباد برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. این شکل با استفاده از پارامترهای k و c احتمال ویبول و رابطه (۱) رسم شده است. اگر نمودار ویبول حاصل نوک‌تیز باشد، مناسب نبوده و هرچه ناحیه گنبدی شکل، پهن‌تر باشد، مناسب‌تر است. در منحنی ویبول چنانچه گستردگی منحنی به سمت سرعت‌های بالا باشد، این امر نشانگر آن است که انرژی تولیدی سایت مطلوب می‌باشد و منطقه ویژگی یک سایت مطلوب را داراست (Alamdari *et al*., 2011). با توجه به شکل ۴، دیده می‌شود که ناحیه گنبدی شکل منحنی نسبتاً باریک است، به دلیل فرکانس ضعیف در سرعت‌های بالای $4\ ms^{-1}$ در منطقه مورد مطالعه هست.



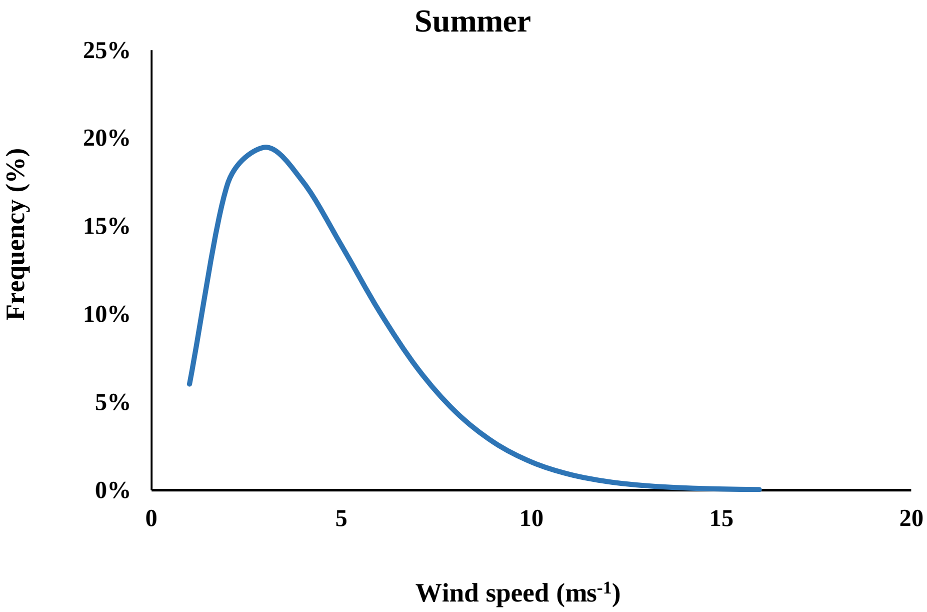
شکل ٤– فرکانس نرمالیزه و توزیع ویبول سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری در شهر پارس‌آباد برای سال‌های (۲۰۱۵–۲۰۰۵)

Fig. 4. Normalized frequency and Weibull distribution of wind speed in the city of Pars Abad at a height of 10 m for the years (2005-2015)



شکل ۵– نمودار توزیع ویبول سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری در شهر پارس‌آباد برای فصل بهار

Fig. 5. Weibull distribution diagram of wind speed in the city of Pars Abad at a height of 10 m for the spring season



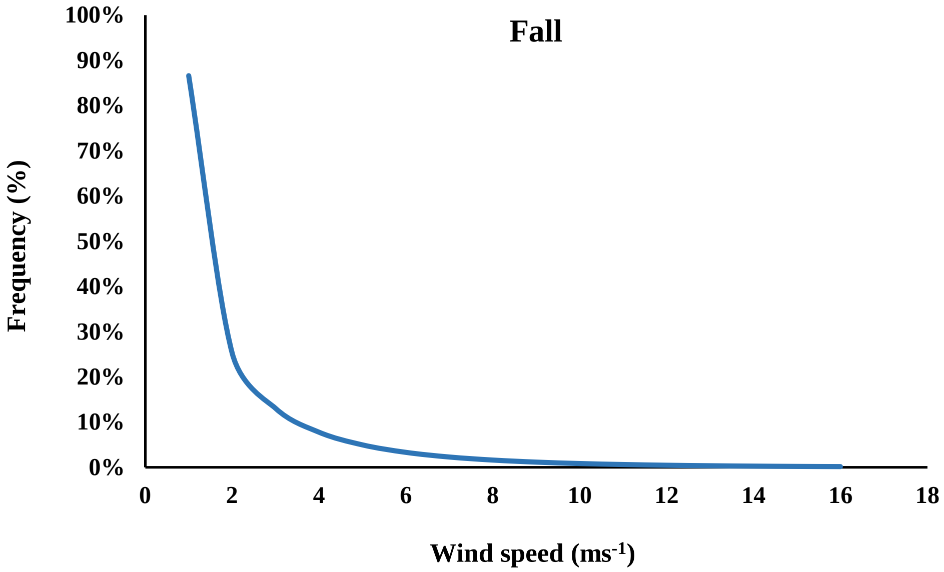
شکل ٦– نمودار توزیع ویبول سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری در شهر پارس‌آباد برای فصل تابستان

Fig. 6. Weibull distribution diagram of wind speed in the city of Pars Abad at a height of 10 m for the summer season

منحنی‌های توزیع ویبول به تفکیک فصول مختلف سال به‌ترتیب در شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ آمده است.

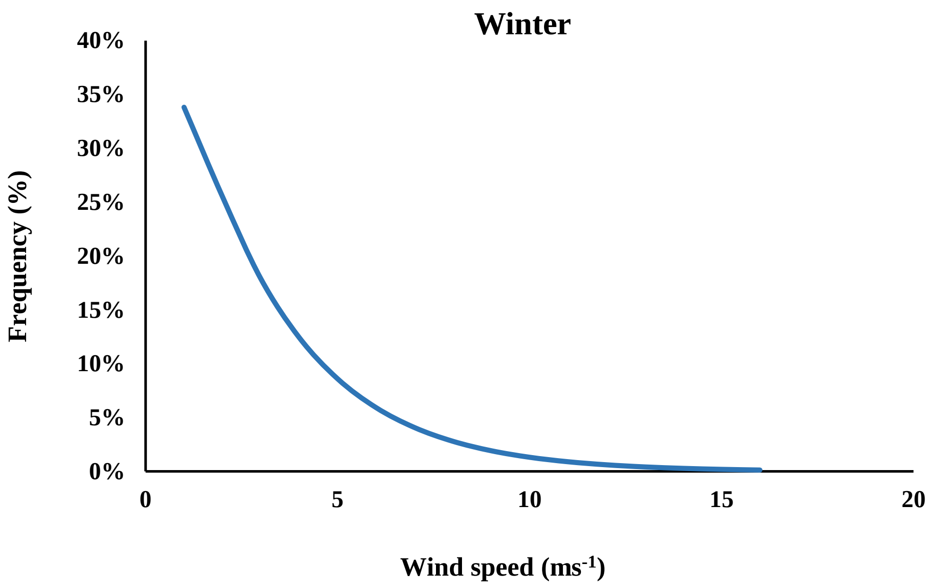
نمودار توزیع سرعت باد در ساعات شبانه‌روز

این نمودار با هدف تحلیل بهتر پراکندگی سرعت بـاد در سـاعات مختلف شبانه‌روز رسم می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، حداکثر سرعت باد در روز (ساعت ۱۲ الی ۳ ظهر) برابر ۴/۲۷ و $3/75\ ms^{-1}$ و کمترین مقدار آن در نیمه‌شـب (سـاعت ۱۲ و ۳ صـبح) برابـر ۱/۷۲ و $1/76\ ms^{-1}$ هست.



شکل ۷- نمودار توزیع ویبول سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری در شهر پارس‌آباد برای فصل پاییز

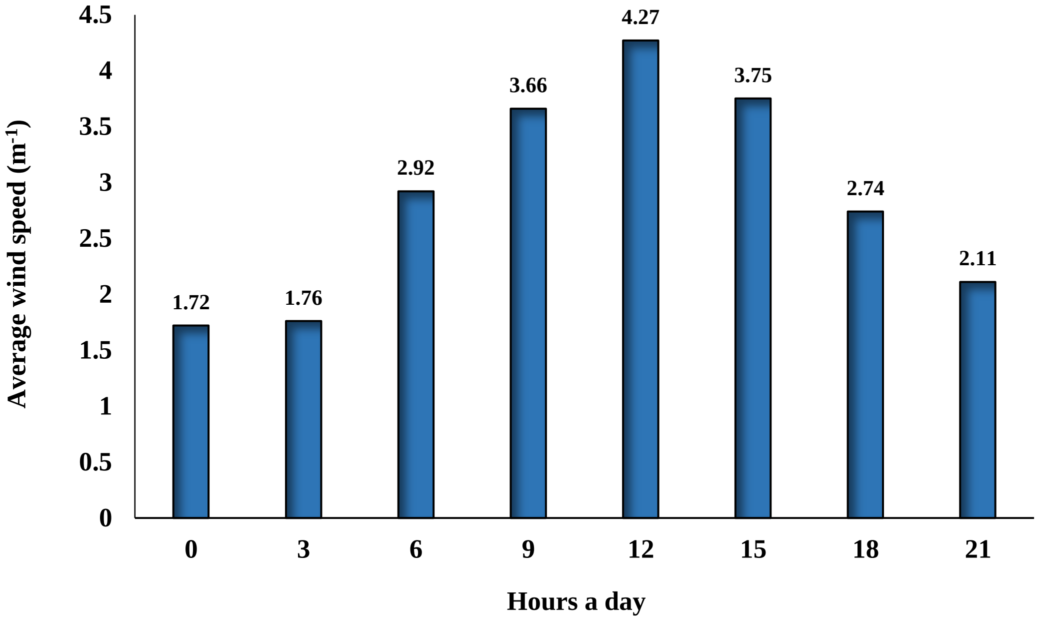
Fig. 7. Weibull distribution diagram of wind speed in the city of Pars Abad at a height of 10 m for the fall season



شکل ۸- نمودار توزیع ویبول سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری در شهر پارس‌آباد برای فصل زمستان

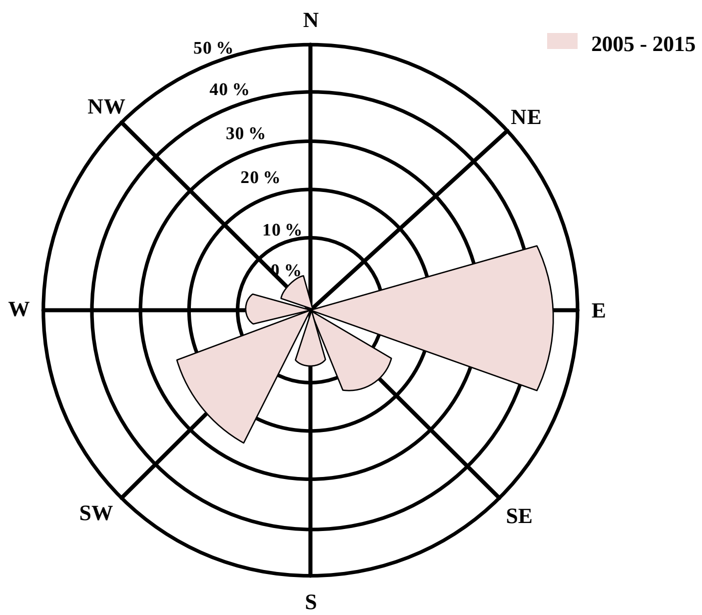
Fig. 8. Weibull distribution diagram of wind speed in the city of Pars Abad at a height of 10 m for the winter season

با توجه به این نمودار، سرعت باد در ساعات ظهر و بعدازظهر بـه اوج خود می‌رسد کـه ایـن نتیجـه بـا در نظـر داشـتن اخـتلاف دما قابل‌توجیه منطقی هست.



شکل ۹– توزیع سرعت باد در ساعات شبانه‌روز در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین برای سال‌های (۲۰۱۵– ۲۰۰۵)

Fig. 9. Wind speed distribution in the hours of a day at the height of 10 m for the years (2005- 2015)



شکل ۱۰– گلباد جهت باد در سال‌های ۲۰۱۵ –۲۰۰۵ در ایستگاه پارس‌آباد

Fig. 10. Wind rose of the wind direction in 2005 -2015 at the station of Pars Abad

فاکتور الگوی انرژی (K_e) منطقه برای سال‌های (۲۰۱۵– ۲۰۰۵) ۱/۶۲ گزارش شد. سرعت باد با بیشترین انرژی ms^{-1} ۰/۶۱ و محتمل‌ترین سرعت باد هم ms^{-1} ۲/۴۰ هست.

گلباد انرژی باد

جهت باد غالب در منطقه و توزیع احتمالی آن از اهمیت زیادی برخورداراست، لذا گلباد جهت باد برای دوره آماری محاسبه‌شده رسم گردید که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود جهات غالب باد در منطقه مورد نظر با فراوانی ۴۳٪، ۲۴٪ و ۱۲٪ به‌ترتیب به جهات شرق، جنوب‌غرب و جنوب‌شرقی تعلق دارد.

چگالی توان و انرژی باد

بهترین راه برای ارزیابی منابع باد در دسترس، محاسبه چگالی توان و چگالی انرژی باد هست. چگالی توان باد نشان می‌دهد که چه مقدار انرژی را می‌توان در یک سایت به الکتریسیته تبدیل کرد. چگالی انرژی باد نیز بیانگر میزان چگالی توان باد برای یک دوره زمانی معین هست. چگالی توان و انرژی باد محاسبه شده در پارس‌آباد در جدول ۳ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که میانگین چگالی توان باد طی ۱۱ سال (P/A) معادل ۳۵ Wm^{-2} هست درحالی‌که تراکم انرژی باد سالانه (E/A) برابر ۳۰۶ $kWhm^{-2}$ می‌باشد.

جدول ۳– تولید سالانه توان و انرژی باد در پارس‌آباد، ۲۰۱۵ –۲۰۰۵

Table 3- Annual wind power and energy production in Pars Abad, 2005-2015

Year	P/A (Wm^{-2})	E/A ($kWhm^{-2}$ $year^{-1}$)
2005-2015	35	306

پارس‌آباد برحسب پتانسیل تولید انرژی باد و بر اساس طبقه‌بندی مقداری برای منبع باد، در طبقه ضعیف تا متوسط قرار دارد (Ambrosini, *et al*., 1992):

ضعیف تا متوسط	$P/A < 110\ Wm^{-2}$
نسبتاً خوب	$110\ Wm^{-2} \leq P/A < 300\ Wm^{-2}$
خوب	$300\ Wm^{-2} \leq P/A < 700\ Wm^{-2}$
خیلی خوب	$P/A \geq 700\ Wm^{-2}$

در مطالعه مشابه، پژوهشگران داده‌های سرعت باد را در ارتفاع ۱۰ متری برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ در شهرستان اردبیل جمع‌آوری کرده و مورد تجزیه و تحلیل قراردادند. نتایج نشان‌داد که در شهرستان اردبیل با متوسط سرعت باد ۳/۷۱ ms^{-1} و چگالی توان باد ۹۵/۵۵ Wm^{-2} طبق طبقه‌بندی آماری، در منطقه متوسط ازنظر پتانسیل انرژی باد واقع شده است و فقط توانایی نصب توربین‌های بادی جهت پمپ آب و شارژ باتری در این ناحیه وجود دارد و جهت اتصال به شبکه مناسب نیست (Fazelpour *et al*., 2014).

در پژوهش دیگری، پتانسیل انرژی باد برای شهرستان زاهدان در جنوب شرق ایران، ارزیابی شده است. در این مطالعه، داده‌های باد پنجساله (۲۰۰۳ –۲۰۰۷) برای به‌دست آوردن چگالی توان باد و پتانسیل انرژی باد جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل شدند. از تابع چگالی ویبول برای تعیین چگالی توان باد و انرژی در منطقه استفاده شده است. تراکم توان و انرژی باد به‌ترتیب ۸۹/۱۸۴ Wm^{-2} و ۷۸۱/۲۵۲ $kWhm^{-2}$ محاسبه شد. همچنین، ارزیابی اقتصادی و تجزیه و تحلیل چهار مدل مختلف توربین بادی نظیر Bergey XL.1, Proven 2.5, Southwest Whisper 500, Bergey Excel-R در این مقاله ارائه شده است که برآورد شد، نصب توربین بادی با مدل Proven 2.5 در این منطقه مقرون به‌صرفه می‌باشد (Mostafaeipour *et al*., 2014).

نتیجه‌گیری

امروزه نیروگاه‌های بادی با توجه به هزینه پایین تولید برق و همچنین سازگاری با محیطزیست از جمله منابع انرژی پرطرفدار بوده و در چند سال گذشته رشد بسیار خوبی داشته‌است. با توجه به اهمیت استفاده از این منبع پایان‌ناپذیر و مزایای استفاده از آن باید یک برنامه‌ریزی دقیق برای شناخت پتانسیل‌های موجود در کشور جهت گسترش استفاده از این منبع انرژی صورت گیرد. در این تحقیق، توزیع سرعت باد سالانه و ماهانه و چگالی توان باد و چگالی انرژی باد در یک دوره‌ی زمانی ۱۱ ساله (۲۰۱۵ –۲۰۰۵) برای شهر پارس‌آباد، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در ارتفاع ۱۰ متری بالای سطح زمین مورد ارزیابی قرار گرفت. توزیع فراوانی سرعت باد این منطقه با استفاده از پارامترهای ویبول (c و k) به‌دست آمد. نتایج تحلیل سرعت باد نشان‌داد میانگین سالانه سرعت باد در طول دوره بررسی در بازه ۱/۹۵ تا ۳/۹۸ متر بر ثانیه قرار دارد و مقدار میانگین آن برای کل دوره آماری برابر ۲/۹۱ ms^{-1} هست. میانگین سالانه پارامتر مقیاسی برابر ۳/۲۹ ms^{-1} و میانگین سالانه پارامتر شکلی برابر ۲/۰۶ هست. میانگین کل سالانه چگالی توان باد برابر ۳۵ Wm^{-2} برآورد شده است و میانگین کل سالانه چگالی انرژی باد برابر ۳۰۶ $kWhm^{-2}$ هست. بررسی سرعت باد در شبانه‌روز نشان‌داد در فاصله‌ی ساعات از بامداد تا ۳ صبح کمترین سرعت باد و برای ساعات نزدیک ظهر تا ۱۵ بعدازظهر بیشترین سرعت باد را دارا است. جهت باد غالب به‌ترتیب از شرق و جنوب‌غربی بیشترین سهم را از بین جهات ۸ گانه به خود اختصاص داده‌اند.

پارس‌آباد با سرعت سالانه ۲/۹۱ ms^{-1} و میانگین توان باد ۳۵ Wm^{-2} در طبقه ضعیف تا متوسط از لحاظ پتانسیل توان باد قرار دارد و کاندیدای مناسبی برای استقرار نیروگاه بادی نیست و تنها برای اتصالات غیرشبکه‌ای نظیر شارژ باتری و پمپ آب جهت مصارف کشاورزی و دامپروری مناسب است.

References

1. Aghkhani, M. H., M. H. Abbaspour Fard, M. R. Bayati, H. Mortezapour, I. Saedi, and A. Moghimi. 2013. Evaluating the performance of a solar drier equipped with a closed air circulation system and moisture absorbent shield. Journal of Agricultural Machinery 3 (2): 92-113. (In Farsi).
2. Alamdari, P., O. Nematollahi, and M. Mirhosseini. 2012. Assessment of wind energy in Iran: a review. Renewable and Sustainable Energy 16: 836-60.
3. Alamdari, P., O. Nematollahi, M. Mirhosseini, and A. A. Alam Rajabi. 2011. Assessment of wind energy potential to construct the wind-electric farms in province of Ardabil. Proceeding of the 1th International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation – ETEC Tehran, Iran, 20-21 November.
4. Ambrosini, G., B. Benato, C. Garavaso, G.Botta, M. Cenerini, and D. Comand. 1992. Wind energy potential in Emilia Romagna, Italy. Wind Eng. Ind. Aerodyn 39: 211-220.
5. Biglari, M., E. A. Assareh, M. Nedaei, and I. Poltangari. 2014. Feasibility study and economic evaluation of wind energy in north of Khuzestan province: case study of shush-tar. Iranian Journal of Energy 17 (1): 91-111.
6. Chang, T. J., Y. T. Wu, H. Y. Hsu, C. R. Chu, and C. M. Liao. 2003. Assessment of wind characteristics and wind turbine characteristics in Taiwan. Renewable Energy 28: 851-871.
7. Chaparzadeh Feseqandis, R. 1999. Feasibility of applying wind turbine for achieving sustainable development. 2th national conference of energy. Tehran, Iran.
8. Fazelpour, F., N. Soltani, and M. A. Rosen. 2014 . Wind resource assessment and wind power potential for the city of Ardabil, Iran. International Journal of Environ Eng. 6: 431-438.
9. Iranian Renewable Energy Organization (SUNA) Tehran, Iran.
10. http://www.suna.org.ir/fa/wind/statistics. Accessed 24 Feb 2016.
11. Iranian Meteorological Organization. http://www.irimo.ir. Accessed 01 Feb 2017.
12. Jahangiri, M., A. Abdollahi, A. Sedaghati, and M. Saghafian. 2011. Assessing the wind energy potential locations in province of Qazvin in Iran, Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation – ETEC Tehran, Tehran, Iran.
13. Jalalvand, M., H. Bakhoda, and M. Almasi. 2014. Potential assessment of the possibility of wind energy usage for electric agricultural pumps in the region of Boroujerd. Journal of Agricultural Machinery 4 (2): 368-377. (In Farsi).
14. Jaramillo, O. A., R. Saldana, and U. Miranda. 2004. Wind power potential of Baja California Sur, Mexico. Renewable Energy 29: 2087-2110.
15. Keyhani Nasab, F., T. Mesri Gundoshmian, Sh. Zargar Ershadi, and S. H. Peyman. 2016. Potential assessment of wind power in Pars Abad, Iran. The 11th National Congress on Biosystem Engineering. Mashhad, Iran.
16. Mirhosseini, M., F. Sharifi, and A. Sedaghat. 2011. Assessing the wind energy potential location in province of Semnan in Iran. Renewable and Sustainable Energy Rev. 15: 449-59.
17. Mojarrad, F., and S. H. Hemmati. 2013. Assessing the wind energy capabilities in provinces of Kermanshah and Kordestan. Journal of Applied Researches of Geographical Sciences 13: 137-157.
18. Mostafaeipour, A., A. Sedaghat, A. A. Dehghan-Niri, and V. Kalantari. 2011. Wind energy feasibility study for city of Shahrebabak in Iran. Renewable and Sustainable Energy 15: 2545-2556.
19. Mostafaeipour, A., M. Jadidi, K. Mohammadi, and A. Sedaghat. 2014. An analysis of wind energy potential and economic evaluation in Zahedan, Iran. Renewable and Sustainable Energy Rev. 30: 641-650.
20. Ouammi, A., H. Dagdougui, R. Sacile, and A. Mimet. 2011. Monthly and seasonal assessment of wind energy characteristics at four monitored locations in Liguria region (Italy). Renewable and Sustainable Energy Rev. 14: 1959-1968.
21. Saeidi, D., M. Mirhosseini, A. Sedaghat, and A. Mostafaeipour. 2011. Feasibility study of wind energy potential in two provinces of Iran: North and South Khorasan. Renew Sustain Energy Rev. 15: 3558-3569.
22. Sharif–Moghaddasi, M. 2009. Wind Energy in Iran. As. J. Energy Env, 6: 202-205.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 2, Fall - Winter 2018, p. 449-461

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۸، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۷، ص ۴۶۱-۴۴۹

Potential Assessment of Wind Power as a Source of Electricity Production in the City of Parsabad, Iran

F. Keyhani Nasab[1*]- T. Mesri Gundoshmian[2]- Sh. Zargar Ershadi[3]

Received: 03-05-2017
Accepted: 15-10-2017

Introduction

Considering the low cost of the wind power production and its relatively good compatibility with the environment, wind farms have shown extensive growth in the past few years. Considering the importance of using the wind power and its advantages, the careful planning is needed to identify the available generation potentials in a region or a country to facilitate its increased use. By the end of 2009, the capacity of wind turbines installed in the wind farms of Iran was 92 MW, which demonstrates the significant potential for additional wind farms in the country and suggests investments in the wind power industry are likely cost effective. The main purpose of this research is to assess the potential of wind power for the city of Pars Abad in northwestern Iran.

Materials and Methods

In order to measure wind power density and wind energy potential, wind speed data collected every 3 hours at a height of 30 m above the ground for 11 consecutive years are analyzed; the data are provided by the Iranian Meteorological Organization and are used in the assessment of electricity production potential in the area chosen for the wind turbines installation. To determine the wind energy potential at a site and estimate the energy output from this site, statistical functions like probability functions are used. There are many probability functions but the Weibull distribution function is usually considered the most useful function for wind speed data analysis due to its simplicity and good accuracy. The Weibull probability density function is defined with two parameters of k and c as follows:

$$f(v) = \frac{k}{c}\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^{k}\right) \quad (1)$$

After calculating the Weibull function parameters, status of a location for wind energy potential can be assessed. A good way to assess the available wind resources is by calculation of the wind power density. This parameter indicates how much energy can be converted to electricity at a site and can be calculated as follows:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho c^3 \Gamma\left(\frac{k+3}{k}\right) \quad (2)$$

Wind energy density expresses the wind power density for a given time period T.The wind energy density for a definite site and in a given time period (one month or one year) (T) can be calculated as:

$$\frac{E}{A} = \frac{1}{2}\rho c^3 \Gamma\left(\frac{k+3}{k}\right) T \quad (3)$$

Results and Discussion

In this study, wind speed data collected in Parsabad, Iran, over a ten-year period (2005-2015) are analyzed, and the Weibull distribution parameters c and k, average wind speed, and average wind power and wind energy densities are determined.

According to Table 1, the minimum and maximum standard deviations of the average monthly indicators during 11 years in November and July are 0.63 and 2.51, respectively, and the minimum and maximum wind speeds of the average monthly indicators during 11 years in November and June are 2.09 ms^{-1} and 4.87 ms^{-1}, respectively. The average annual Weibull scale parameter (c) is 3.84 while the average annual Weibull shape

1- Graduated M.Sc. student of Agricultural Mechanization, Department of Biosystems Engineering, University of Mohaghegh Ardabili
2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Mohaghegh Ardabili
3- M.Sc. Student of Mechanical Biosystems Engineering, Department of Biosystems Engineering, University of Mohaghegh Ardabili
(*- Corresponding Author Email: forough_keyhani@yahoo.com)

parameter (k) is 2.61. The average annual wind power density (P/A) during 11 years is 45 Wm^{-2}, while the average annual wind energy density (E/A) during 11 years is 389 $kWhm^{-2}$/year. Pars Abad in terms of generation potential of wind energy and based on quantitative classification for wind resource is located in weak to average region.

Conclusions

Pars Abad with an average wind power density of 45 Wm^{-2} and average wind speed of 3.41 ms^{-1} is not a good candidate for wind power plants and it is just suitable for off-grid electrical and mechanical applications such as charging batteries and pumping water for agricultural and livestock uses.

Keywords: Parsabad, Weibull Parameters, Wind energy, Wind energy density, Wind power density